

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

Грушицький Олександр Вікторович

УДК 621.3

ТЕПЛОПРОДУКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ СОНЯЧНОГО ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

АВТОРЕФЕРАТ
дипломної роботи магістра на здобуття вищої освіти
освітнього ступеня магістр

Тернопіль – 2019

Дипломною роботою магістра є рукопис

Робота виконана в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник кандидат технічних наук,
Белякова Ірина Володимирівна,
доцент кафедри електричної інженерії
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя

Рецензент кандидат фізико-математичних наук,
Габрусєв Григорій Валерійович
доцент кафедри вищої математики
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя

Захист відбудеться "28" грудня 2019 р. о 10 годині на засіданні екзаменаційної комісії № 41 з атестації здобувачів вищої освіти освітнього ступеня магістр 141 - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка при Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя МОН України за адресою: 46000, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46, аудиторія 404.

З авторефератом дипломної роботи магістра можна ознайомитись в інституційному репозиторії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (ELARTU) за адресою: <http://elartu.tntu.edu.ua/>.

*Секретар
екзаменаційної комісії № 41*

Коцюрко Р.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) актуально для всіх країн світу: для розвинених країн, що імпортують паливно-енергетичні ресурси, - це, в першу чергу, забезпечення енергетичної безпеки; для розвинених країн, що мають свої запаси палива, - покращення екологічної ситуації; для країн, що розвиваються - спосіб поліпшити соціально-побутові умови проживання населення.

За даними [1] запасів газу вистачить на 120 років, нафти - на 250, вугілля - на 1560, тому використання ВДЕ в усьому світі - це забезпечення світової енергетичної безпеки. Від стану енергетики залежить також розвиток промисловості і сільського господарства, тому використання ВДЕ допоможе вирішити також проблему сталого розвитку сільських територій. Таким чином, впровадження ВДЕ вплине на рішення трьох глобальних проблем: енергетики, екології та продовольства.

Зараз країни всього світу прагнуть розвивати використання відновлюваних джерел енергії, і багато з країн займаються цією проблемою на державному рівні з наступних причин:

- зменшення залежності від імпорту органічного палива (в основному нафти і газу);
- забруднення навколишнього середовища;
- можливість інтеграції енергоустановок на основі відновлюваних видів енергії в існуючу енергетичну мережу;
- можливість застосування і розвитку наукоємних технологій;
- невичерпність ВДЕ;
- доступність поновлюваних ресурсів.

Найбільш поширеним і доступним поновлюваним джерелом енергії є сонячна енергія. Прихід сумарної сонячної енергії на поверхню Землі оцінюється в 10^{18} кВт·год/рік, що в 7000 разів перевищує річне споживання енергії всіх жителів планети.

Для теплопостачання і гарячого водопостачання житлових і сільськогосподарських об'єктів використовують сонячні колектори (СК). У сільському господарстві сонячні колектори застосовуються для опалення та гарячого водопостачання житлових і тваринницьких об'єктів; для сушіння фруктів, зерна, іншої продукції; теплової обробки грубих кормів.

Провідними країнами у використанні сонячних теплових установок (плоскі сонячні колектори і колектори з вакуумованою трубкою) є: Китай - 65,1 ГВт теплової потужності, Туреччина - 6,6 ГВт, Німеччина - 5,6 ГВт, Японія - 4,7 ГВт, Ізраїль - 3,4 ГВт. За ними слідують Греція - 2,3 ГВт, Бразилія - 2,2 ГВт, Австрія - 1,9 ГВт, США - 1,6 ГВт і Австралія - 1,1 ГВт [4].

До 2008 року у світі всього було встановлено 67,4 млн. м (47,2 ГВт теплової енергії) плоских сонячних колекторів з склінням.

Вважається, що сонячна установка не окупається протягом 20 років в районах, що лежать на північ 45° пн.ш. Але навіть в країнах з холодним кліматом - Швеції, Фінляндії - реалізовані проекти сонячних систем

теплопостачання із застосуванням теплових насосів і сезонних акумуляторів теплоти. Тож в Україні також існує можливість використання сонячної енергії і в помірному кліматі.

Ціна за кВт·год теплової енергії, отриманої за рахунок використання сонячних колекторів, знизиться з 25 центів до 2 - 10 центів до 2020 року. Враховуючи безперервне і значне зростання цін на електроенергію, можна говорити про необхідність впровадження ВДЕ, в тому числі для виробництва теплової енергії.

Зниження вартості теплової енергії, що виробляється сонячними колекторами, може бути досягнуто за рахунок зменшення капітальних витрат на сонячну установку і застосування більш ефективних конструкційних матеріалів, а також підвищення ефективності роботи сонячних колекторів і зменшення теплових втрат сонячного колектора.

Актуальність роботи.

Найбільші теплові втрати, від яких значно залежить продуктивність сонячного колектора, відбуваються за рахунок теплового випромінювання і конвекції через прозору ізоляцію. Ці втрати можуть становити до 90 % всіх теплових втрат сонячного колектора, тому вибір прозорої ізоляції з високим опором теплопередачі - важлива стадія конструювання сонячного колектора.

Дослідженням сонячних колекторів, в т.ч. їх прозорої ізоляції, займалися Авезов Р. Р., Бекман У.А., Бутузов В.А., Даффі Дж.А., Зоколей С., Казанджан Б.І., Попель О.С., Тарніжевський Б.В. , Твайделл Дж., Трушевський С.Н., Уейр А. та ін.

Як правило, в сонячних колекторах в якості прозорої ізоляції застосовується одинарне скління, яке має коефіцієнт опору теплопередачі 0,13 м·К/Вт при середній температурі приймача 100 °С, температурі навколишнього середовища -20 °С і коефіцієнті тепловіддачі в 20 Вт / (м·К). Подвійне скління має опір теплопередачі 0,24 м·К/Вт, подвійне скління з селективним покриттям - 0,36 м·К/Вт при тих же параметрах, але використання подвійного скління ускладнює конструкцію сонячного колектора через збільшення товщини повітряних зазорів між листами скла, а також збільшує вагу конструкції.

Вакуумовані склопакети (ВСП) з коефіцієнтом опору теплопередачі, переважаючим одинарне і подвійне скління за рахунок вакуумного зазору, в якому теплопровідність розрідженого газу і конвекція незначні, можуть застосовуватися в якості прозорої теплоізоляції сонячних колекторів.

Об'єкт дослідження: процеси теплопередачі у сонячному колекторі та проходження проміння через оптичну систему.

Предмет дослідження: конструкції, що зменшують теплові втрати та підвищують ефективність поглинання випромінювання у сонячних колекторах.

Метою роботи є підвищення теплопродуктивності системи сонячного гарячого водопостачання шляхом застосування вакуумованих склопакетів та концентруючи систем.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Проведено розрахунок теплового балансу сонячного колектора з прозорою ізоляцією з вакуумованого склопакету і теплової ізоляцією з пінопласту в стаціонарному режимі.
2. Запропонована методика визначення теплотехнічних характеристик сонячного колектора з вакуумованим склопакетом, яка ґрунтується на комплексному розв'язанні рівнянь теплопередачі і молекулярно-кінетичної теорії газів. Дана методика включає розрахунково-експериментальний метод визначення тиску розрідженого газу в вакуумному зазорі за його коефіцієнтом теплопровідності.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Встановлено, що при наявності селективних покриттів внесок вакуумного зазору в загальний опір теплопередачі прозорої конструкції становить $\approx 20\%$ при вакуумі 10^{-1} мм рт. ст., $\approx 60\%$ при вакуумі 10^{-2} мм рт. ст. і до 77% при більш високому вакуумі $10^{-3} - 10^{-5}$ мм рт. ст.
2. Обґрунтовано параметри вакуумованих склопакетів, що забезпечують підвищення теплопродуктивності сонячних колекторів.

Апробація результатів роботи. Окремі результати роботи доповідались на Міжнародній студентській науково-технічній конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 25-26 квітня 2019 року. ТНТУ, 2019 р.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 6 частин, висновків та переліку посилань. Об'єм роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 118 арк. формату А4, графічна частина – 19 аркушів презентації.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні задачі досліджень, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, апробацію та впровадження результатів роботи.

Перший розділ «Літературний огляд» носить оглядово-аналітичний характер і містить аналіз актуальності та перспектив сонячної теплоенергетики в Україні, процесу нагрівання води сонячним випромінюванням, типів колекторів, типів прозорої ізоляції для сонячних колекторів, будови та особливостей вакуумних склопакетів.

У **другому розділі «Основна частина»** наведено основні результати дипломної роботи.

Сонячний колектор є основним конструктивним елементом сонячної установки, в якому електромагнітна енергія сонячного випромінювання перетворюється в теплову енергію. Класифікація сонячних колекторів представлена на рис. 1 СК складається із приймача, внутрішніх каналів, гідравлічного колектора, прозорої ізоляції - скла, кріплення, ущільнювача, теплоізоляції.

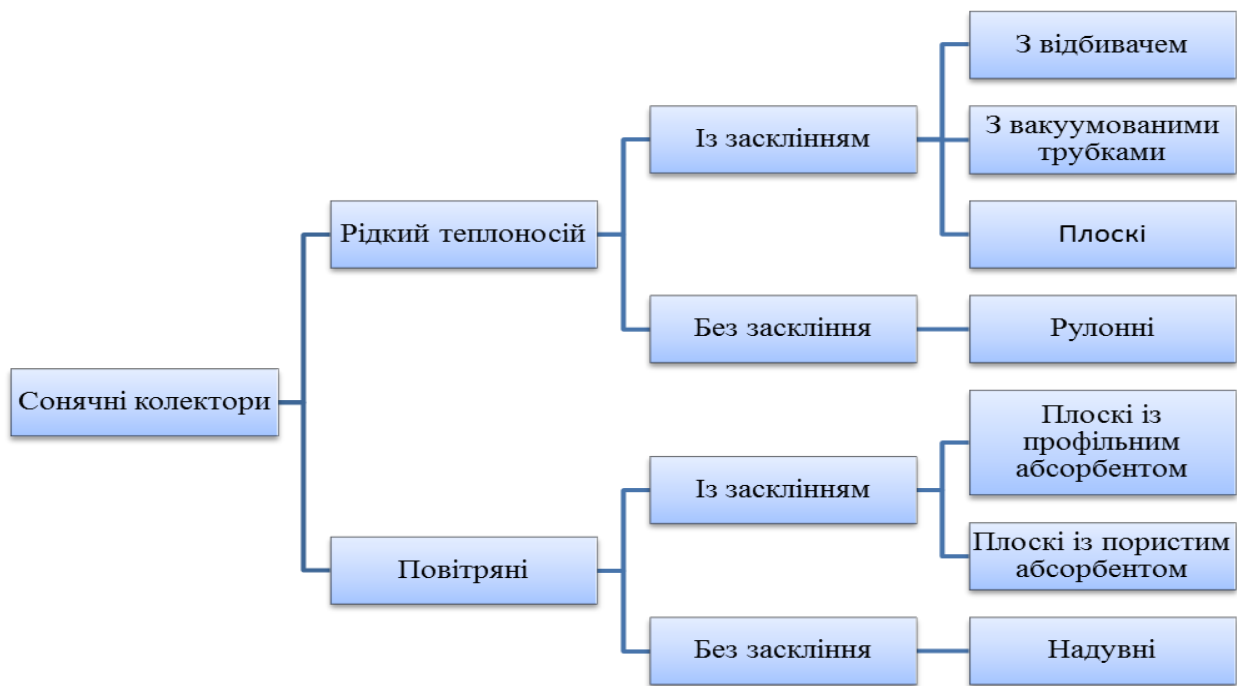


Рис. 1. Класифікація сонячних колекторів

Найбільш поширеним типом прозорої ізоляції в СК є скло. Тепловтрати випромінюванням через скло можна знизити за рахунок використання селективного скла. Селективність скла забезпечується нанесенням тришарового покриття. Як показав літературний огляд, для зменшення теплових втрат також доцільно використовувати вакуумовані склопакети. Але їх переваги ще до кінця не обосновані. В залежності від наплення та кількості склопакетів вакуумні склопакети мають різний коефіцієнт пропускання світла та тепловий опір.

Основні страти тепла у вакуумному склопакеті відбуваються через склокерамічні фіксатори, вакуумний зазор і шов герметизації.

Загальний вигляд колектора із вакуумним склопакетом представлений на слайді 2.

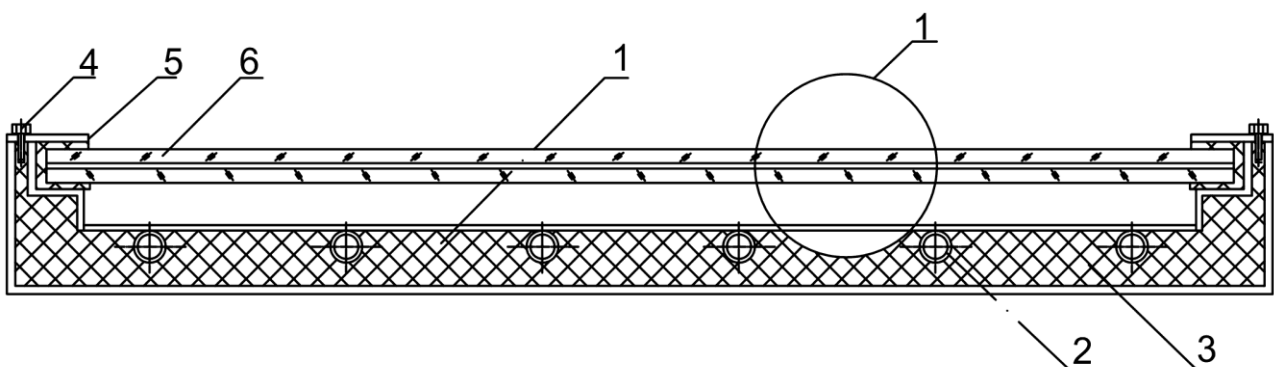


Рис. 2. Схема сонячного колектора з вакуумованим склопакетом

Він складається із:

- 1 - приймача сонячного випромінювання,
- 2 - внутрішніх каналів,
- 3 - теплоізоляції,
- 4 - кріплення,
- 5 - ущільнювача,
- 6 – вакуумованого склопакету

Для вивчення втрат у колекторі із вакуумним склопакетом використано енергетичний баланс. Проаналізувавши велику кількість літературних джерел, запропоновано для розрахунку теплотехнічних характеристик сонячних колекторів із вакуумними склопакетами використовувати методику, на основі якої розраховано опір теплопередачі R_t різних типів прозорого огороження та внесок складових теплопереносу в вакуумному зазорі для вакуумованого склопакету із селективним та без селективного покриття.

Також була проведена робота по розрахунку вакуумних сонячних колекторів з відбивачами. Як зразок взято півтораїдальний концентратор. Як показник енергоефективності даних колекторів взято ексергетичну ефективність, яка є відношенням ексергії e , отриманої теплоносієм від сонячного випромінювання, до ексергії сонячного випромінювання.

Ексергетична ефективність, розрахована за 5 годин роботи сонячного колектора з ω -подібними відбивачами і подвійним склінням, склала 3,74 %, а з прозорою ізоляцією із вакуумними склопакетами 5,55 %.

Це означає, що використання вакуумних склопакетів у сонячних колекторах із концентраторами сонячного випромінювання підвищує його енергетичні показники.

У третьому розділі «Спеціальна частина» наведено особливості використання редактора формул у MS Word для оформлення результатів роботи магістра.

У четвертому розділі «Обґрунтування економічної ефективності» наведено обґрунтування використання сонячних колекторів та проведено техніко-економічне обґрунтування системи опалювання і нагріву води на базі геліоколектора.

У п'ятому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» проведено аналіз наступних питань: основні вимоги безпеки до улаштування та експлуатації технологічного обладнання, сигнально-попереджувальні пристрої і фарбування, особливості проведення рятувальних та інших невідкладних робіт при ліквідації наслідків великих виробничих аварій і катастроф.

У шостому розділі «Екологія» наведено класифікацію забруднень довкілля та матеріальні та енергетичні забруднення.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено методику розрахунку теплотехнічних характеристик сонячних колекторів з вакуумними склопакетами, що включає розрахунково-

експериментальний метод визначення тиску розрідженого газу в вакуумному зазорі.

2. Оцінено внесок вакуумного зазору в опір теплопередачі вакуумного склопакету. Без селективних покриттів на склі, внесок вакуумного шару в загальний опір теплопередачі становить 17 % при низькому вакуумі (10^{-1} мм рт. ст.), 36 % при вакуумі 10^{-2} мм рт. ст. та 40 % при більш високому вакуумі (10^{-3} - 10^{-5} мм рт. ст.).

3. Теплоперенесення шляхом випромінювання через вакуумований склопакет без селективних покриттів при вакуумі 10 мм рт. ст. складає близько 88 %, тому нанесення одного селективного покриття на внутрішню поверхню вакуумованого склопакету необхідно. Нанесення двох і більше селективних покриттів значно здорожує сонячний колектор.

4. Обґрунтовано параметри вакуумованих склопакетів, що забезпечують підвищення теплопродуктивності сонячних колекторів:

- тиск розрідженого газу в вакуумному зазорі має бути не вище 10^{-3} мм.рт.ст.,

- повинно бути нанесено одне селективне покриття на внутрішній поверхні вакуумованого склопакета з випромінювальною здатністю 0,1.

Опір теплопередачі сонячного колектора при цих характеристиках становить 0,77 м·К/Вт, що вище ніж опір теплопередачі сонячного колектора з одинарним склінням із селективним покриттям в 3 рази.

5. Порівняння економічних ефектів використання сонячних колекторів з одинарним склінням, що мають селективне покриття, і сонячних колекторів з вакуумованими склопакетами для забезпечення гарячого водопостачання особистого підсобного господарства показало, що, за рахунок підвищення теплопродуктивності, економія витрат на електроенергію більша при використанні сонячних колекторів з вакуумованими склопакетами.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати роботи

1. Грушицький О.В. Системи сонячного гарячого водопостачання / Грушицький О.В. // Збірник тез Міжнародної студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 25-26 квітня 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — Том 3. — С. 98. — (Електротехніка, електроніка та світлотехніка).

АНОТАЦІЯ

Грушицький О.В. Теплопродуктивність системи сонячного гарячого водопостачання. – Рукопис.

Дипломна робота магістра за спеціальністю 141 - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2019.

Встановлено, що до 90 % всіх теплових втрат сонячного колектора відбуваються через прозору ізоляцію, тому при проектуванні сонячних колекторів значна увага має бути приділена вибору прозорої ізоляції з високим опором теплопередачі. Тому запропоновано застосування вакуумних

склопакетів як більш ефективних в порівнянні з одинарним і подвійним склінням прозорої ізоляції в плоских сонячних колекторах і сонячних колекторах з відбивачами. У порівнянні з одинарним і подвійним склінням вакуумні склопакети мають більш високий опір теплопередачі. При цьому товщина ВСП не набагато більше одинарного скління - близько 6 мм.

Запропоновано заходи для удосконалення методики визначення теплотехнічних характеристик сонячних колекторів з вакуумованих склопакетами, що включає розрахунково-експериментальний метод визначення тиску всередині вакуумного зазору.

Проведено розрахунок оптимальних характеристик вакуумованого склопакету. З якого виходить, що для того щоб опір теплопередачі вакуумованого склопакету перевищувало опір теплопередачі одинарного і подвійного засклень з селективним покриттям, необхідно нанесення одного селективного покриття з випромінювальною здатністю 0,1 на внутрішню поверхню скла вакуумованого склопакету і створення вакууму не нижче 10^{-3} мм рт. тт. При цих значеннях опір теплопередачі вакуумованого склопакету складе $0,77 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт}$, що більше ніж у одного скла з селективним покриттям в 3 рази, ніж у подвійного скла з селективним покриттям в 2 рази

Ключові слова: сонячна енергія, колектор, теплові втрати.

ANNOTATION

Hrushytskyi O.V Thermal performance of the solar hot water supply system. - Manuscript.

Diploma paper for a Master's Degree, speciality 141 Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics . – Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, 2019.

It is established that up to 90% of all thermal losses of a solar collector occur through transparent insulation, so when designing solar collectors considerable attention should be paid to the choice of transparent insulation with high heat transfer resistance. Therefore, it is proposed to use vacuum windows as more effective than single and double glazing transparent insulation in flat solar collectors and solar collectors with reflectors. Vacuum windows have higher heat transfer resistance than single and double glazing. However, the thickness of the VSP is not much more than a single glazing - about 6 mm.

Measures are proposed to improve the method of determining the thermal characteristics of solar collectors with evacuated double-glazed windows, which includes a calculation and experimental method for determining the pressure inside the vacuum gap.

The optimal characteristics of the evacuated glass unit have been calculated. From which it follows that in order for the heat transfer resistance of the evacuated glass unit to exceed the resistance of the heat transfer of single and double glazing with selective coating, it is necessary to apply one selective coating with a radiating capacity of 0.1 to the inner surface of the glass vacuum-forming glass 3 mm . vols. At these values, the heat transfer resistance of the evacuated glass unit will be $0.77 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$

K) / W, which is more than one glass with a selective coating 3 times than a double glass with a selective coating 2 times

Key words: solar energy, collector, heat losses